

心拍変動と感情

Heart Rate Fluctuation and Affect

藤 永 博
Fujinaga, Hiroshi

ABSTRACT

This brief review article intended to offer a basis for using conventional and fractal heart rate fluctuation indices as physiological measures for affect. The article started with a historical overview of different viewpoints and approaches from which affect and emotion have been studied since late 1800's. The overview led to the conclusion that relating a dimension model for the structure of affective experience to physiological measures for affect is one way to overcome the difficulties researchers have confronted with in their efforts to understand the origin and functional significance of affect. Reviewing Yoshida's successful attempt to relating a two-dimensional ("pleasantness" and "arousal") model to brain wave (alpha wave) fluctuation provided a motivation to consider the periodical and fractal components of heart rate fluctuation as potential sources for physiological measures that could be used for brain wave fluctuation indices.

＜目次＞

1. はじめに
2. 感情とは
3. 感情の位相
4. 感情の測定
5. 感情の機能
6. 感情の次元説
7. 感情の心理生理学的研究における次元モデルの重要性
8. 感情の生理的指標としての脳波
9. 感情の生理的指標としての心拍変動
10. むすび

1. はじめに

従来、感情は人間の理性的な行動の妨げになると考えられ、その機能的な意義についてはあまり重視されず、感情機能は心理学の研究の中心テーマとしては扱われてこなかった。しかし、最近の研究により、感情の生理的あるいは社会的機能が徐々に理解されるようになり、現代社会における感情機能の重要性が認識されるようになってきた。⁽¹⁾ただ、多くの感情研究が被験者の主観的言語報告にのみ基づいており、今後、研究の客観性を高めていく必要がある。

本稿ではまず、これまで行われてきた感情研究の視点や方法について概観したうえで、感情の起源や機能を科学的に研究するひとつの方法として、感情の次元モデル（あるいは円環モデル）と生理学的手法を組み合わせた心理生理学的手法が有効であることを主張したい。その有効性を示す具体的な例として、脳波（ α 波）のゆらぎを用いた吉田の研究を紹介し、最後に心拍変動を脳波のゆ

(1) 例えばダマシオ（2000）は、感情の本質は身体の直接的知覚であり、経験に価値を付与し、合理的な推論や意思決定において重要な役割を果たすと考え、感情を生存のための生体調節や行動選択の基盤と位置づけた。

(2) 吉田（2002）。

らぎと等価の感情指標として扱うことの合理性について言及する。

2. 感情とは

感情とは何か。その起源は何か。これらは 19 世紀の後半から研究されている問題であるが、いまだに統一された見解は得られていない。その原因は研究者の観点の違い、あるいは感情の捉え方の違いにあると考えられる。それらの違いは感情を機能として捉えるかシステムとして捉えるか、状態として捉えるか特性として捉えるかといった感情の定義あるいは感情の本質に関わる違いである。⁽³⁾この節では、感情研究におけるいくつかの代表的な観点を整理しておく。⁽⁴⁾

2. 1. 進化論的観点－適応システムとしての感情－

進化論的立場では、感情を人が危険を回避したり危機を克服したりするために必要な生理的準備状態に起源を発する適応上必要な神経科学的なシステム、即ち生存競争がつくりだした進化の産物として捉える。⁽⁵⁾現存する種のもつすべ

(3) 一般に感情には状態と特性の二つの面があると考えられている。例えば「不安」という感情には現在不安な状態にあるという「状態不安」と、人格特性として不安になりやすいという「特性不安」がある。ここでいう状態と特性は、主にその感情の持続時間の違いで区別される。状態は比較的短時間で一過性の経験であり、特性は特定の同じ感情を経験しやすいかどうかの個人的傾向で、長期にわたる安定した性質である。(高橋, 谷口 (2002) pp. 83–84.) 感情に関する用語として、情動、気分があるが、これらもその感情現象の持続時間の違いで区別される。情動は急激な表出や自律神経系の活動変化をともない短時間で終わる比較的強い感情をいう。一方、気分は数日から数週間の単位で持続する比較的弱い感情で、性格や気質との関係が強い。(濱, 鈴木, 濱 (2001) p. 3)

(4) 例えば、多くの表情研究は感情を特性として捉える方法論的アプローチをとる。臨床心理学や精神分析の現場ではその時の患者の感情状態を、その状態をもたらした患者の特性や過去の経験と関連づけようと試みる。また最近では、ひとつの感情がひとつの行動を担うという単純な機能論ではなく、感情は情報処理方略を選択し、その処理の中で感情の役割が異なるという複雑な感情混入モデルが流行している。

(5) ダーウィンは、動物とヒトの表情には“近似性”があり、動物からヒトにつながる進化的な連続性があることを主張したが、ヒトの表情が生態学的に適応価値があったから進化の過程をとおして残ってきたと主張したわけではなかった。感情が生命維持あるいは種の保存に果たしてきた役割を考慮しなければ感情を理解することはできないと考えたのは、ダーウィンの流れを継ぐプルチック (Plutchik) やエクマン (Ekman) などの新ダーウィン主義者である (濱, 鈴木, 濱 (2001) p. 24)。

ての特性は生存していくうえで何らかの価値をもっている。もし価値のない特性があったとしたら、それは自然淘汰される」とする進化論をあてはめてみると、感情は進化段階における順応行動とみなすことができ、動物にとって感情反応は生命維持、種の保存に必要な基本的・原型的行動パターンであり、そのため表情や生理反応といった全身的反応として表出すると考えることができる。現存する感情は動物が生存するうえで何らかの意味をもっているとすれば、感情がどのように適応のプロセスに関わっているかを明らかにしていくことが感情の本質を理解するうえで重要である。そのためには内観法による研究だけではなく、生理学的指標と主観的指標の対応を考慮した研究が必要となろう。⁽⁶⁾

感情には喜び、悲しみ、恐怖、怒り、嫌悪、驚きといった基本感情が存在するという考え方があるが、これは進化論的観点に立った感情理論である。つまり、現存する感情は人間が生存していくうえで必要であるため、進化の過程を経て生き残ったものと考えられる。この考えをさらに突き詰めてみると、感情は普遍的なものであり、その感情によって生じる表出およびその解釈は各民族、各文化に共通の要素をもつという仮説が導かれる。⁽⁷⁾ また、本質的な感情として基本感情があり、基本感情の種類と強弱の組み合わせによって多様な混合感情が生じると考えられる。⁽⁸⁾

イザード (Izard) は基本感情について以下のことを指摘した。⁽⁹⁾

- (1) 基本感情には生得的な神経回路の独自パターン、表情および感情表出のための神経・筋肉パターン、主観的もしくは現象学的に識別可能な特徴がある。
- (2) 基本感情は社会的・文化的な違いにより、表出され意識される強度は異なるが、その普遍的な共通性は経験的に確認できる。
- (3) 以下の理由により純粋な基本感情を研究することは困難である。

(6) 濱, 鈴木, 濱 (2001) pp.35-36.

(7) このようないくつかの基本的な感情 (および表情) が、神経的基盤をもつ適応的で文化普遍的な実体として存在するという説を基本感情理論 (basic emotions theory) をいう。

(8) 濱, 鈴木, 濱 (2001) pp.32-34.

(9) 福井 (1990).

- ①感情を喚起する刺激は、ある特定の身体反応や対処行動に対応しないで有機体全体の反応を引き起こすため、基本感情が純粹に一つだけ生じることが少なく、他の基本感情と結合して別の感情パターンをつくることが多い。
- ②一つの感情の出現時間は非常に短く、次から次へと違った感情が連続して生じる。
- ③基本感情は同じであっても文化差や性差などによって表出に違いが生じる。

2. 2. 心理生理学的観点⁽¹⁰⁾

日常の経験からもわかるように、感情経験には生理的変化がともなう。しかし、感情を経験（自覚）するのと、生理的な変化が起こるのはどちらが先なのか。この問題について、ジェームズ（James）は「悲しいから泣くのではなく、泣くから悲しいのである」というフレーズに象徴される感情末梢起源説（図 1(a)）を唱えた。これは、感情を喚起する刺激（経路 1）を受けた大脳皮質がまず骨格筋や内臓を賦活し（経路 2）、その賦活された状態あるいは末梢の身体的変化が大脳皮質に伝わる（経路 3）ことで感情を経験するという説である。⁽¹¹⁾感情末梢起源説に対して、キャノン（Cannon）とバード（Bird）は感情を喚起する刺激はまず視床に伝わり、視床の活性パターンが大脳皮質に伝わることで感情を経験する一方で、それが骨格筋や内臓にも作用するという感情中枢起源説（キャノン・バード説）⁽¹²⁾を唱えた。⁽¹³⁾感情中枢起源説（図 1(b)）は感情・情動の生起を次のように説明する。⁽¹⁴⁾外部環境からの刺激によって受容器に生じた刺激は経路 1

(10) 高橋, 谷口 (2002) pp.86-88.

(11) この説は、同時期に感情体験における心臓血管系や内臓系の関与を重要視したランゲ（Lange）の説とともにジェームズ・ランゲの説と呼ばれる。ランゲは末梢の変化のなかで特に血管系の変化を強調したので、彼の説は血管運動理論（vasomotor theory）と呼ばれている。感情変化と心臓循環機能の関連は感情研究の早い時期から注目されていたことがわかる。

(12) 現在の解剖学的分類では視床下部に相当する。

(13) キャノンは内臓と脳の神経連絡を外科的に断つても『怒り』や『喜び』といった情動は消失しないこと、同様の内臓変化が情動状態によっても非情動状態によってももたらされること、バードは視床（視床下部）を切除すると情動が消失することを実験的に示し、ジェームズとランゲの感情末梢起源説を否定した。

を通り視床下部に送られ、さらに経路1'を経て大腦皮質に伝達される。刺激がある条件を満たすとき、視床下部に対する大腦皮質の抑制が解除されること（経路3）により視床下部に「パターン化された反応」が生じ、それが経路2により内臓や骨格筋へ送られると感情表出を惹起し、大腦皮質に伝達される（経路4）と感情体験を生みだす。つまり、キャノンのいう感情・情動とは、視床下部の活動が皮質抑制過程から解放されるときに生じる現象である。

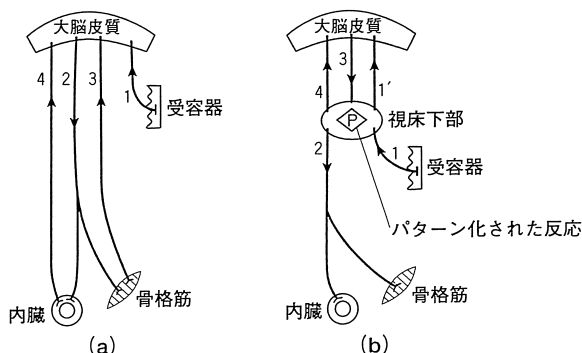


図1 ジェームズの感情末梢起源説 (a) およびキャノン・バードの感情中枢起源説 (b)
(濱, 鈴木, 濱 (2001) p.23)

キャノン・バード説は、その後、身体的反応は視床下部が司るが感情体験は大腦辺縁系（特に帯状回）が重要な役割を果たすとするパペッツ (Papez) の理論と、感情における脳幹、中脳、大腦基底核 (R complex) の役割を強調したマクリー (MacLean) の説になどに継承されたが、次第に心理学的観点よりも生理学的な神経回路網の研究や脳生理学などの神経組織の解明に重点が移っていく⁽¹⁵⁾。

パペッツは視床下部が感情表出、大腦皮質が感情体験に関わるというキャノン・バード説を踏まえて、多くの臨床・実験データを根拠に、感情の中枢は単一

✓ (14) 濱, 鈴木, 濱 (2001) pp.22-23.

(15) 濱, 鈴木, 濱 (2001) p.28.

の部位にではなく大脳辺縁系にあると考えた。刺激は視床から三つの経路にわかれ、大脳皮質、大脳基底核、視床下部へと伝わり、三つの経路はそれぞれ思考、運動、感情に関係するとした。このうち三つ目の、視床から視床下部、視床前核、帯状回、連合野、海馬、視床下部とつながる閉回路がパペッツ・ループと呼ばれる感情回路である。帯状回から連合野に刺激が入ることで感情体験が生じ、さらに大脳皮質から海馬を通して視床下部に刺激が流れると感情表出に影響を与えている。認知回路もこの回路の近くにあるため、感情は記憶や思考にも影響を及ぼすと考えられている⁽¹⁶⁾。

ルドゥ⁽¹⁷⁾（LeDoux）は感情の“処理経路”には扁桃体を中心に大脳辺縁系を経由する経路と、大脳新皮質を経由し扁桃体に至る経路があるとする感情の二重経路説を唱えた。前者は感情喚起刺激に対して自動的で迅速な“感情的計算処理回路”であり、後者は複雑な評価の過程を経て行われる高次“認知的計算処理回路”であると考えられている⁽¹⁸⁾。感情的な意味をもつ可能性がある感覚器からの刺激は、高次の認知処理が行われる前に大脳辺縁系のレベルで反射的に処理が行われる可能性をルドゥは指摘している⁽¹⁹⁾。しかし、通常はこの経路に対して大脳新皮質を経由した高次認知評価を受けた入力が増えられ、感情表出が調節されると考えている。ルドゥの二重経路説は次に述べる感情の認知的アプローチの根拠になっている。

2. 3. 認知的観点

アーノルド（Arnold）⁽²⁰⁾は進化論的観点や心理生理学的観点からでは感情の喚起過程について十分説明できないとして、感情は環境からの刺激の知覚－評価－⁽²¹⁾

(16) 高橋, 谷口 (2002) pp.87-88.

(17) LeDoux, J. E. (1987).

(18) 遠藤 (1996).

(19) 濱, 鈴木, 濱 (2001) p.28.

(20) Arnold (1960).

(21) 有益か, 有害かの評価。

感情の過程を経て喚起されるとし、評価の重要性を強調した。また、彼女はある感情は特定の評価パターンにもとづいて喚起され、独特の身体反応を引き起こし、合理的な行動を引き起こす動機づけとしての機能をもつと主張した。ラザラス⁽²³⁾はこの考えを認知－動機づけ関係理論 (cognitive-motivational relational theory) に発展させ、感情は生体が知覚した環境からの刺激に対する反応であり、ある状況に対して下した有益か、有害かの評価にもとづき、その状況に対処するために生体を準備し起動させると考えた⁽²⁴⁾。

ラザラスが感情の発生には直面している状況に関する認知的評価が不可欠であると主張したのに対して、ザイアンス (Zajonc) は、認知的評価が関与しなくても感情は生まれる、つまり感情と認知は少なくとも部分的には独立したシステムであるとしている。ザイアンスは認知を刺激がもたらす感覚入力ではなく、何らかの心的活動あるいは高次の情報処理を含む過程と考えている。ここでいう心的活動は、感覚入力を主観的に体験できる形態へと変換させるような感覚入力操作や、過去の主観的体験と対応させるようなことである。刺激がこのような心的活動を引き起こさなければ、それは認知されていないとみなすのである。一方ラザラスは、刺激が快か不快か、危険か否かを識別するような生得的な反応も認知的評価とみなしている。従って、ある刺激が感情を喚起するためにはどんなにわずかで自動的であろうと何らかの評価 (認知) が必要であり、故に認知が常に感情より先行すると考えている。ザイアンスが刺激の特徴に関する最低限の弁別を認知とみなしていないのに対して、ラザラスはそれも認知であると主張している⁽²⁶⁾。

(22) 肯定的あるいは否定的感情。

(23) Lazarus (1991)。

(24) ラザラスはストレスに対するコーピング (coping) という観点から、二つの基本レベルの認知的評価 (cognitive appraisal) の過程を想定した。一つは直面する状況が自分にとって有益か有害かを評価する一次評価 (primary appraisal) で、もう一つはその状況に対処できるかどうかを評価する二次の評価 (secondary appraisal) である。ラザラスは、感情はこれらの基本的な評価過程の結果生じると考えた (高橋、谷口 (2002) pp.90-91)。

(25) 心的活動あるいは高次の情報処理を含まないという意味。

(26) 高橋、谷口 (2002) pp.93-94。

当時のラザラスとザイアンスの議論は必ずしもかみ合ったものではなかったようだが、現在の感情研究においては議論の争点は整理されており、感情と認知を含めた脳の高次機能の関係は最も重要な研究課題のひとつと考えられている。

2. 4. 社会的構築主義⁽²⁷⁾（社会構成主義⁽²⁸⁾）の観点－社会的機能としての感情－

進化論的観点や基本感情理論に真っ向から対立するのが認知学派から発展した社会的構築主義（social constructivism）あるいは社会構成主義の観点である。この観点に立つ研究者によると、感情は単に我々の系統発生学的な過去の過程を経て残ったものではなく、また厳密な生理学用語で説明できるものでもない。あくまでも社会化の過程を通じて漸次的に獲得あるいは構築されるもので、社会レベルでの分析によってのみ理解されうる文化特異的な社会構成体である。従って、感情喚起は特定の主観的経験、表情や姿勢などの表出行動、生理的反応パターン、対処行動などと一義的に結びついているわけではないと考える。

この立場では、感情には特別な社会的機能があると考えられる。エイブリル⁽²⁹⁾（Averill）は、ある感情喚起状況に遭遇すると、社会的な機能としてどのような行動をとるか、身体反応をどのように解釈するかといった評価に関する適切な方法である“規定された一連の反応”が生成されると考え、状況の評価やそれに基づく反応は、人がある特定の文化の中で社会化される過程において学習した“社会的に定められた規則”に従って解釈されるとし、その解釈を感情と捉えている。

3. 感情の位相

感情には内外の環境刺激に対する認知評価（cognitive appraisal）、感情状態

(27) 高橋, 谷口 (2002) p.83.

(28) 濱, 鈴木, 濱 (2001) p.58.

(29) Averill (1980).

(emotional state), 感情体験 (emotional experience), 感情表出 (emotional expression) の4つの位相があるとする考えが一般的である。⁽³⁰⁾ 認知評価が感情喚起にどう関与するかを理解するためには、認知とは何かという基本的な問題について整理する必要があると思われるが、感情が高次の脳機能と深い関わりがあることに疑う余地はない。今後の感情研究は、感情の位相構造を解明し、さらに感情が脳の高次機能や人間の合理的・理性的行動にどのような役割を果たしているかを明らかにしていかなければならない。そのためには、感情状態や生体に表出する現象 (感情表出) を測定し、主観的言語報告に基づく感情体験を対応づける必要がある。その際、独立変数となる主観的感情を何らかの方法で操作し各位相を科学的な手法を用いて関連づけるべきであろう。

感情状態とは、“ある刺激、ある状況の認知に対して生じる中枢神経系の神経生理学的活動状態”と定義される仮説構成概念である。感情状態については、特定の生理的变化、行動変化と結びついているという考え方と、特定の生理的变化や行動変化と結びつくものではなく、認知評価に依存するという考え方がある。⁽³¹⁾ 前者は感情状態と感情表出の間に1対1の対応があることを意味し、後者は、これらの間に結びつきはない、あるいはあっても極めて弱いことを意味する。感情喚起刺激は必ずしも特定の生理的・行動的喚起と結びつかない。刺激の認知評価あるいは感情表出が影響を及ぼすと考えられる。

感情状態は客観的に捉えられる生体反応であり、科学的分析の対象となるものである。感情表出は内的状態 (感情状態) の顕在化である。これらをもとに感情が体験され、他の個体への伝達が行われる。感情は様々な情緒行動や情緒性自律反応をとおして表出されるが、人間は社会的動物であるがゆえに感情表出はごまかし、隠蔽、自己制御といった自己防衛、文化的・社会的経験や道徳観に従って表出を調整する表示規則 (display rules) が働く。そのため、感情状態と他の位相の対応は往々にして曖昧になる。⁽³²⁾

(30) 濱, 鈴木, 濱 (2001) p.4.

(31) Lewis (1993).

4. 感情の測定

4. 1. 心理尺度・行動尺度・生理尺度

感情を測定する際に用いる尺度には、主観的な感情体験を調べる心理的尺度、外的反応を基礎とした行動的尺度、内的（生理的）反応を基礎とした生理的尺度がある。心理的尺度には内観法、リッカート法、評定尺度法、自由回答法、質問紙法などがある。心理尺度は故意もしくは無意識の嘘や隠し立て、思い違い、表示規則などの影響を受けることがある。また、すべての人に同じ感情を喚起する共通の刺激は存在せず、ある個人内においてさえ同一の刺激が常に同じ感情を喚起するとは限らない。このように感情体験は主観的なものであり、当事者がどう感じているかは主観的な言語報告に頼らざるをえない。

行動的尺度としては、表情、姿勢、態度、しぐさ、音声などの様々な非言語的行動が、生理的尺度としては、血圧、心拍、皮膚電気反射、皮膚温度、血流量などの自律神経系の活動による自律反応と、脳波や、筋電図、呼吸のような中枢神経系の活動による随意反応が用いられる。感情喚起時の生理的变化についてはすでに数多くの所見があるが、どのような感情状態がどのような生理的变化や行動変化に対応しているかはまだ明らかにされていない。

4. 2. 心理的尺度と生理的尺度の関係

ジェームズが末梢起源説、キャノンが中枢起源説を提唱して以来、生理状態と心理状態の間には何らかの対応関係が存在するのではないかと推察されてきた。感情が生起するとき、身体になんらかの生理的な変化が生じていると考えるのは自然である。しかし、実験研究レベルでは、各感情が生起する時の生理的反応は一致しないことが多い。その理由として次の点が指摘されている。⁽³³⁾

①実験的に喚起された感情は、意図的につくりだされたもの、模倣されたもの、

✓ (32) 濱, 鈴木, 濱 (2001) p.8.

(33) 濱, 鈴木, 濱 (2001) p.121.

あるいはイメージを用いて喚起させたものが多く、真に生じた情動反応（感情）を直接対象としているわけではない。

②実験的に喚起される情動反応（感情）は、日常生じる情動反応よりも弱い場合が多い。

③同じ情動反応（感情）が喚起されたとしても個人により生理的な反応パターンは異なる。

④心理学的事象の測度は生理的事象の測度より時定数が大きい（時間的な変化に敏感でない）か、時間的な変化を問題にしない場合が多い。そのため、時間変化を重視する生理的尺度とそうでない心理的尺度の対応関係を見ることが困難である。

⑤情動反応（感情）は主観的な経験であり、さまざまな内的・外的要因の影響を受けるため、同一条件が設定されたとしても、同一被験者内でさえ反応が異なる可能性がある。

⑥ある個人にとっての情動反応喚起刺激が他の人にとっては同等の意味をもたないばかりか、喚起刺激にすらならない場合がある。

生理的尺度と心理的尺度の関係を明らかにすることは生理心理学を専門とする研究者の夢であり、おそらく心理学始まって以来の課題であろうが、いまだに明確な関係を示す結果は得られていない。両者の関係を明らかにするためには、上述したような様々な問題を克服しなければならない。また、新しい研究方法として、人格特性を変数に取り入れた個人差研究や共分散構造分析などの多変量解析法を用いたアプローチを導入する必要がある。

これまで述べてきたことから明らかなように、感情は多様な側面を持つ現象である。感情研究では少なくとも以下のことに目を向ける必要がある。⁽³⁴⁾

①感情は主観的な状態である。

②感情は適応行動をとるべく生体を準備させるための生物学的・生理学的反応である。

(34) 濱, 鈴木, 濱 (2001) p.5.

③感情は機能的なものである。

④感情は社会的現象である。

こうした感情の多様性は感情研究が克服しなければならない困難の源であると同時に、感情研究の重要性や社会的意義を保障するものであろう。特に、感情が認知あるいは行動選択にどのような影響を及ぼすかなど、感情の機能的側面については解明されていない部分が多く、今後の研究が期待される。

5. 感情機能

5. 1. 人間関係における感情機能

人と人の関係を、生物の個体どうしの関係、つまり生物の主体（生活体）と客体（その生活体にとっての環境）が互いに適応し合っている機能的関係（機能環）とみなすと、そこで発揮される感情には

①その人（個体）の内部環境の様子を他の人（個体）に知らせる機能

②自分自身のオペラント行動の⁽³⁵⁾弁別刺激⁽³⁶⁾としての機能

③他の個体のオペラント反応の制御機能

があると考えられる。例としては、頭痛のとき居合わせた人に顔をしかめて見せるとき、興奮したときに落ち着こうとして深呼吸をするとき、レスポナント性であれオペラント性であれ、怒りの表情が他者のオペラント行動の活動性を一時的に低下させるとき、感情はそれぞれ①、②、③の機能を果たしうる。⁽³⁷⁾

(35) ヒトや動物の示す多様な行動のなかには生得的にその種に備わった行動である。これをレスポナント行動という。レスポナント行動にはそれを提示すれば必ずレスポナント行動を引き起こす刺激（誘発刺激）が存在する。そのような刺激が見当たらないのに生じる行動をオペラント行動と呼ぶ（松田（編）、（1997）p.63）。

(36) 誘発刺激に依らないオペラント行動は、通常、ある自発頻度を示すが、その自発頻度は後続する刺激によって変化する。刺激を提示することによって先行する行動の頻度が増加するとき、その刺激を強化子といい、オペラント行動に強化子を後続させる手続きを強化と呼ぶ。オペラント行動が強化されるときに提示された刺激は、その刺激が提示されると、それによって強化されたオペラント行動の自発頻度が増加する。このような機能をもつ刺激を弁別刺激という（松田（編著）（1997）p.68）。

(37) 松田（編著）（1997）p.167。

5. 2. 快－不快感情の機能

快感情と不快感情は単一の連続体ではなく、質的に異なるという考え方がある⁽³⁸⁾。これは両者の機能が異なることを含意している。不快感情は心身の健康に悪影響をもたらすという考えは一般的であろう。特に敵意や怒りといった不快感情は心筋梗塞などの心臓血管系疾患と関係があることは一般によく知られている⁽³⁹⁾。また、不快感情に関連した交感神経－副腎髄質系の活性が疾病を促進させる可能性が指摘されている⁽⁴⁰⁾。一方、快感情には不快感情の生体への悪影響を取り除く力があることが実証されている⁽⁴¹⁾。ラザラスは快感情の機能として、個体と環境の有害な関係性が変化することを示すシグナルとして機能し、不快感情の生体への影響を除去することによって、個体に有益な“未来”を確約する機能をもつと仮定した⁽⁴²⁾。

5. 3. 合理的な推論や意思決定を可能にする感情⁽⁴³⁾

ダマシオは、脳損傷によって感情の経験が減じられた患者を対象とした研究から、個人的あるいは社会的領域での推論や意思決定のプロセスと密接につながっている一群の脳システムは、感情の生起プロセスにおいても重要な役割を演じていると結論づけ、感情があるからこそ我々は日常生活において推論したり合理的な意思決定をしたりすることができるという仮説を導き出した⁽⁴⁴⁾。この

(38) Watson, Clark, and Tellegen (1988).

(39) Smith (1992).

(40) Mayne (1999).

(41) 快感情には、不快刺激によって喚起された不快感情と亢進された心臓血管系の活動を元に戻す効果があることが知られている（濱，鈴木，濱（2001）p.118）。

(42) Lazarus (1991).

(43) ダマシオ（2000）pp.144-148（訳者田中三彦氏の解説）

(44) ある感情状態にあるとき、我々は通常その感情状態に関係しない事柄には注意を向けなくなる。その状態から脱するべく（ポジティブな感情状態であればそれを維持すべく）その状況に必要な行動をいつの間にか組み立てている。これは当面必要のない無関係な情報を意識から排除し、ある特定のことにのみを選択的に注意や思考を配分することなしにはありえないといえる。感情はそうした注意や思考の選択的絞り込みおよびその持続に極めて重要な役割を果たしていると考えられる（高橋，谷口（2002）pp.3-4）。

仮説は、感情と理性を対立的な要素とみてきた伝統的な見解とは異なる。また、ダマシオは現代の脳科学が感情や理性に限らず生体に起るすべての事象の原因・理由を脳の構造や機能に求めていることに疑問を抱いており、理性や感情を生み出すプロセスにおいては“身体”がむしろ重要な役割を果たしていると主張している。彼にとって、身体は“生きているという感覚の基盤”であり、脳に信号を送るだけの、あるいは脳からの指令を受けて動くだけの機械的付属物ではない。

ダマシオの仮説の出発点は生物の“進化”，そして生物の“生存”にあると考えられる。「進化は脳のない生物を生み出しはしたが、脳があつて身体のない生物は生み出さなかつた」⁽⁴⁵⁾ という指摘があるように、脳はあくまでも生物の“生存”を有利にする適応的な産物であり、“生存”のために常に身体の状態を監視するモニターである。感情は推論や意思決定と“生存”という問題でつながっており、これらについて外的な環境や内的な環境によって時々刻々と変化する身体の状態を抜きに論ずることはできない。感情は身体の状態と密接な関係があり、生きている感覚を反映する。また大脳の高次機能には感情に依存する部分があり、感情は生存のために不可欠であると考えられる。

5. 4. 現代社会における感情機能の重要性

これまで述べてきたように、感情は生命の維持に関わる生体調節や社会生活の基盤となる合理的・理性的行動の構築、意思決定、推測、自己理解、他者理解などをするうえで重要な役割を果たしていると考えられる。感情の起源や発現のプロセスを理解し、ともすれば忘れられがちな感情の機能的側面について理解を深めることによって、最近ますます深刻化してきている心の問題への対応、対人関係構築能力やコミュニケーション能力の向上、自己発見や他者理解が可能になると考えられる。

現代社会では、感情機能の重要性が高くなってきているように感じる。社会

(45) ダマシオ (2000) p.145 (訳者田中三彦氏の解説)。

生活において、感情のコントロールを必要とする状況や、表出される感情から他者あるいは自己を理解し行動しなければならない状況が増えてきているのではないだろうか。今後、感情機能に関する理解を深めるための様々な社会的取り組みがますます重要になると思われる。感情研究に関して言えば、主観的心理尺度と生理的尺度の対応関係に焦点をあてた実験研究を進め、その成果をもとに心理状態と生理状態の関係について明らかにしていかなければならない。その際、主観的言語報告を基に感情構造を定義するのではなく、主観的状态（感情体験）と生理状態（感情状態）の間に一対一の対応が見られるように感情構造モデルをつくる必要があろう。そのためには主観的心理状態の質的違いを少数のパラメーターで表し、感情を少数の次元を基底とする感情平面上に配置することが求められる。

6. 感情の次元説

6. 1. 感情の次元説とは

すべての感情は独立するいくつかの“座標感情”が構成する感情平面（あるいは感情空間）上のベクトルとして表すことができるという考え方がある。これは感情の次元説と呼ばれる。「感情には各民族、各文化に共通の基本感情があり、それらの強弱の組み合わせによって多様な混合感情が生じる」という基本感情理論では、基本感情の特定とそれらの“基本性”⁽⁴⁶⁾および“普遍性”⁽⁴⁷⁾の検証に焦点があてられたが、次元説では、経験的に確認できる感情を特定するための“座標感情”が問題にされる。次元説の立場では、同じ感情でも見る角度、あるいは感情が喚起される状況が異なれば感情の捉え方が変わり、場合によっては全く違った感情として認識されることがあると考える。例えば、「怒り」という感情は特定の感情体験ではなく、状況が変われば「恐れ」などの違った感情と

(46) 怒り、恐れ、喜びなど10以上の感情が基本感情として提唱されているが、どれを基本感情とみなすかについては研究者の間で統一的な見解ができていないわけではない。

(47) ここでいう基本性とは、基本感情は人間の各本能あるいは人間行動の原型（prototype）に対応するという純粋感情としての性質を指すと考えてよかろう。

して認識されうる。これは、「怒り」という感情はある感情体験がいくつかの“座標感情”が張る感情平面（空間）で方向と大きさが決定され「怒り」とカテゴライズされただけで、状況が変われば「恐れ」などの違った感情として認識されうることを意味する。状況の変化は、感情平面（空間）の原点が変わったり、“座標感情”が変わり感情平面（空間）そのものが変わったりするケースが考えられる。

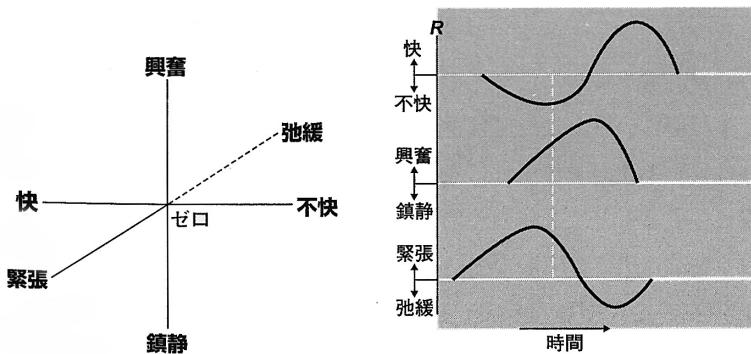


図2 ヴントの感情3方向説と時間推移（濱, 鈴木, 濱（2001）p.13）

次元説の起源はヴント（Wundt）が唱えた感情の三方向説やワトソン（Watson）が唱えた三情動説にあると考えられる。ヴントは感情の方向を快－不快，興奮－沈静，緊張－弛緩の3次元に分類し，感情の3方向説と時間的变化を図2のように示した。一方，ワトソンは，出生児にすでに恐怖，怒り，愛の三つの感情があると主張した。これら三つの生得的な根源的感情がもとになり，様々な感情が条件づけられて獲得されると考えた。

(48) 感情の変化を三次元感情空間の点（ベクトル）の軌跡として捉えることができる。図2は感情の時間的变化の一つのパターンを示しているにすぎず，三つの次元の相互関係はこのパターンに限定されない。

(49) 濱, 鈴木, 濱（2001）p.44.

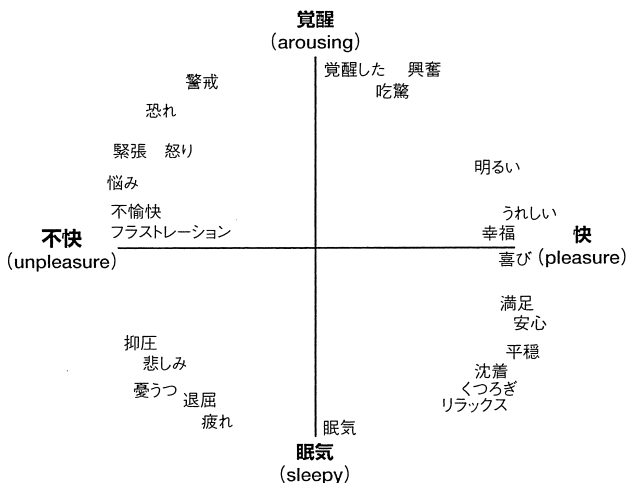


図3 ラッセルの感情円環モデル（濱, 鈴木, 濱（2001）p.47）

ラッセル⁽⁵⁰⁾（Russell）は、すべての感情は「快－不快」と「覚醒－眠気」の2次元で表される平面に円環上（図3）に並べることができるとする円環モデル（circumplex model）を提唱した。ラッセルの円環モデルの特徴は、各感情を上記の2次元座標軸上のベクトルの方向と大きさとして表示される点である。円環上の感情の質的な違いは、二つの感情ベクトルがなす角度で表されるが、この角度は感情間の相関関係の強さ（相関係数）を表している。すなわち、45度のずれがある感情の相関係数は $\cos 45^\circ = 0.707$ 、90度のずれがある感情の相関係数は $\cos 90^\circ = 0$ 、180度のずれがある感情の相関係数は $\cos 180^\circ = -1$ となる。なお、感情の強さはベクトルの大きさ（長さ）によって示される。

ウィットブリーナ（Witvliet）とブラナ（Vrana）は、感情の次元と生理的な反応との関係を検討したうえで、生理的指標との対応が認められたポジティブ感情とネガティブ感情の枠組みをもつ感情平面の有効性を主張した。彼らの試みは、

(50) Russell (1980).

(51) 例えば、円環上の「幸福」感と「くつろぎ」感（図4）。

(52) 例えば、円環上の「幸福」感と「眠気」感（図4）。

(53) 例えば、円環上の「緊張」感と「リラックス」感（図4）。

心理的な軸として抽出された快－不快の軸および覚醒－眠気の軸と、筋電図や瞬目反射などの生理的指標が定義する軸が45度ずれている可能性を示唆するもので興味深い⁽⁵⁴⁾。

6. 2. 次元説の問題点

感情を次元説で捉えるときの問題点をふたつ指摘したい。まず、座標軸となる感情（座標感情）の選択に関する問題である。次元説の観点に立つ研究者は、快座標と覚醒座標を基本に考えている点で一致しているが、次のような疑問が残る⁽⁵⁵⁾。

- ① 快感情と覚醒感が基底となる感情平面にすべての感情が配置されるか。
- ② 快感情と不快感情を単次元（連続体）として扱うことができるか。
- ③ 基底となりうる感情が満たすべき条件とは何か。基本感情とはどのような関係にあるか。
- ④ 快－覚醒感情平面上の感情はすべて基底感情になりうるか。他の基底感情によって表示される感情は快感情と覚醒感で表される感情と一致するか⁽⁵⁶⁾。
- ⑤ 第3次元の導入（感情空間の構築）は必要ないか。

次元説の第二の問題点は、座標の交点、すなわち感情空間の原点に関する問題である。各次元あるいは座標には意味があるため、その交点は中性を示す点であるはずだが、その中性点にはどのような意味があるだろうか。

7. 感情の心理生理学的研究における次元モデルの重要性

感情の起源や機能については統一的な見解が得られていないのが現状である。

(54) 濱, 鈴木, 濱 (2001) p.52.

(55) “快の活性－不快の不活性”と“快の不活性－不快の活性”を主要2次元と考えている研究者も多い（例えば, Meyer and Shank (1989), Zevon and Tellegan (1982)）。Larsen と Diener は (Larsen and Diener (1992)) は、これらの次元に基づく座標系と快－覚醒座標系を45度ずらして感情平面に配置し、感情平面を8分割している。ポジティブ感情とネガティブ感情はこれらの感情分割の中で分類できる。

(56) これらはいわゆる感情座標軸の回転の問題である。

内外の環境の変化（刺激）に対して生体調節や対処行動あるいは適応行動が起こるとき、感情が重要な役割を果たしていると考えられるが、こうした生理的・行動的变化が生じるために特定の感情状態が必要不可欠かどうかは不明である。また、環境変化が引き起こす質的に異なる感情状態と環境変化の結果生じる生理状態あるいは対処・適応行動の間に何らかの対応があるかどうかは明らかにされていない。これらは感情の起源にも関係する感情研究における本質的な問題である。

今後の感情研究では心理生理学的な手法の重要性が高まると考えられる。心理的指標（尺度）と生理的指標（尺度）の関係を調べ、感情経験と生理状態の対応を明らかにし、生理指標から感情状態を客観的に評価する方法を検討する必要がある。個々の主観的言語報告をもとに感情を細かく分類してしまうと、測定された生理的状态と一義的に対応する感情カテゴリーを見出すことは困難になる。先に述べたように感情体験と感情状態の間に一对一の対応が見られるような感情カテゴリーを設定するのが得策で、そのためには感情の次元説に基づく感情分類が有効と考えられる。その例を次に示す。

快－覚醒平面には大きく分けて4つの質的に異なる快感情（快適感）が存在すると考えられている。⁽⁵⁷⁾吉田は、感情体験の主要因子として快－不快と興奮－鎮静（覚醒感）の二つの因子をあげ、快適感はこの二つの因子で説明できると仮定した。そのうえでそれらの因子の相関関係を調べ、横軸に覚醒感、縦軸に快－不快をとり、被験者に安静時や課題後の感情体験を－100から＋100の連続評価スケールに基づいて数値回答させた1777例のデータの分布を示した（図4）。図4において、第1象限は892例で、二つの因子間の相関係数は0.474、第2象限は433例で相関係数は－0.355、第3象限は246例で相関係数は0.474、第4象限は206例で相関係数は－0.321で、各象限で相関係数は統計的に有意（ $p < 0.0001$ ）である。吉田は相関係数の符号に着目して、快に感じる領域（第1と第2象限）と不快に感じる領域（第3と第4象限）に快－覚醒平面を二分し、

(57) 吉田（2002）。

快領域において覚醒感が低い状態で快に感じるときと覚醒感が高い状態で快に感じるときがあることを、不快領域でも覚醒感が低い状態で不快に感じるときと覚醒感が高い状態で不快に感じるときがあることを示唆した。さらに脳波がこれらの質的に異なる快感情に対応する生理的指標となりうることを示した。

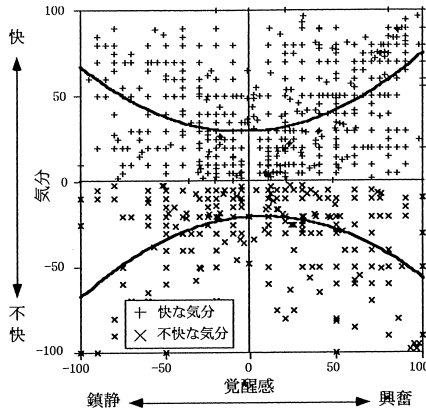


図4 快適感における覚醒感因子（興奮－鎮静）と気分因子（快－不快）の相互関係
（吉田（2002）p.697）

8. 感情の生理的指標としての脳波

8. 1. 脳波の機序

脳波の発生機序については電位の発生源とリズムの発生源に分けて考えなければならないが、ここでは後者について簡単に触れる。

脳波には α 波の他にも、速波や徐波などの基礎律動がある。これらの律動（リズム）の発生機序については十分解明がなされていないが、これまでの多くの研究によって概要は明らかになってきた。 α 波、睡眠紡錘波、速波、徐波などのリズム発生機序は厳密には同一ではないが、基本的に共通したメカニズムが関与していると推察される。そのメカニズムとは、視床ニューロンの脱分極・過分極電位の複合から成る律動性膜電位変動によるリズム形成である。 α 波の

リズム発生源として視床が重要な役割を果たしていることはほぼ間違いない。 α 波は安静閉眼時に選択的に出現し、外的刺激等による覚醒水準の上昇や、逆に入眠期などの覚醒水準の低下によって抑制されるので、脳幹網様体の機能的調節が発生に深く関与していると考えられている。覚醒水準が上昇すると α 波が消失して低振幅 β 波が優位に出現する（脱同期化あるいは賦活化）が、この現象は単なる律動的活動の抑制ではなく、実際は大脳皮質の活動の賦活と視床における β 波帯域リズムの形成によることが明らかにされている⁽⁵⁸⁾。

8. 2. 感情の生理的指標としての脳波

吉田は、脳波の基礎律動のパワー分布がピーク周波数を中心に裾を引く分布を示すこと、すなわち基礎律動の周期が優勢波を中心にゆらいでいることに注目し、さらにそのゆらぎの大きさと感情の質に何らかの関係があるという⁽⁵⁹⁾“印象”（経験的観測）から、心理状態の質的違いと基礎律動の周期のゆらぎを合わせた感情ベクトルモデルを提唱した。この節ではそのモデルについて簡単に説明する。

吉田による快感情ベクトルモデルでは、基礎律動波のゆらぎ特性をもとに算出されるリズム度が重要な役割を果たす。まずこのリズム度について説明する。

脳波の計測では、 $Fp1$ と $Fp2$ の原脳波を 200Hz でデジタル化し、基礎律動波を含む 6~15Hz の波を -24oct/dB のデジタル帯域フィルターをとおして抽出し、次にフィルターされた波を対象に定電位交差法を用いて個々の波の周期を算出する。これらの周期を時系列に並べたデータを再度 20Hz でサンプリングし、1 区間データ 512 点ごとに FFT により周波数のゆらぎスペクトルを算出し、これらを横軸が対数周波数、縦軸が対数スペクトル密度（ゆらぎ量）の両対数グラフで表示する⁽⁶¹⁾。このスペクトル密度の分布が脳波の基礎律動のゆらぎ特性を表

(58) 鶴 (2000) p.10.

(59) 吉田 (2002).

(60) 精神集中時には基礎律動（ α 波）の周期ゆらぎは小さく、リラックス時はやや大きくなる傾向がある（吉田 (2002)）。

す（図5）。

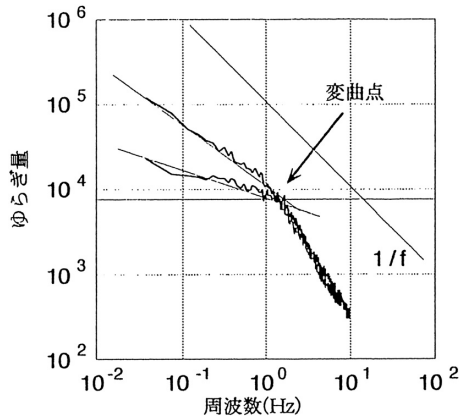


図5 脳波のゆらぎ特性（吉田（2002）p.699）

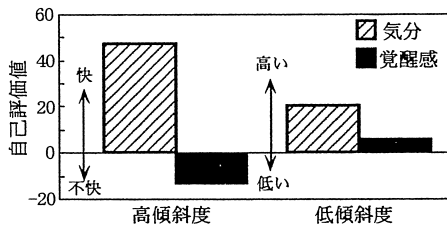


図6 脳波のゆらぎ特性と覚醒感・気分（吉田（2002）p.699）

図5に示されているように、スペクトル密度の変化パターンは通常ある周波数（変曲点）を境におおきく変わる。心理状態に対応するのはスペクトル密度が変曲する周波数点以下の周波数域である。この変曲点で低周波数域と高周波数域に分け、低周波数域を対象に対数周波数を独立変数、対数スペクトル密度を従属変数にとって単回帰式を求め、その回帰係数（直線の傾き）で心理状態に対応する基礎律動のゆらぎ特性を表す。

✓ (61) 実際は実時間で連続する4区間の平均スペクトルをグラフ表示する。

直線の傾きは通常-1 から 0 までで負符号となるが、この傾きの絶対値をリズム度と定義する。直線の傾きはまれに 0 よりも大きくなったり、-1 よりも小さくなったりすることがある。⁽⁶²⁾ 傾きが 0 以上のときはリズム度を 0、-1 以下のときはリズム度を 1 とする。図 6 は、傾きの大きい 30 例について快感情と覚醒感を調べた結果である。左前頭部のリズム度 ($Fp1$) が大きい (1 に近い) とき快の自己評価値は高く、小さい (0 に近い) とき低くなることが分かる。また、右前頭部のリズム度 ($Fp2$) が大きい (1 に近い) とき覚醒感の自己評価値は低く、リズム度が小さい (0 に近い) とき高くなっている。快感情のベクトルモデルはこれらの結果を考慮して構築されている。

快感情のベクトルモデルでは、快感情の質的・量的違いをそれぞれベクトルの方向 (角度) と大きさとで極座標表示する。⁽⁶³⁾ 快適度はリズム度 $Fp1$ と $Fp2$ のから方向と大きさを次の式から計算する。

$$\text{方向 (角度)} = \arctan\left(\frac{Fp1-0.5}{0.5-Fp2}\right) \quad (\text{負ならば角度} + 360^\circ \text{ とする。})$$

$$\text{大きさ (割合)} = \sqrt{\left[\frac{Fp1^2 + Fp2^2}{2}\right]} \times 100 \quad (\text{単位は}\%)$$

大きさは、左右前頭部のリズム度 $Fp1$ と $Fp2$ がともに 1 のとき快適度 100% となる。

図 7 は吉田によって示された安静時 809 例の快適度を極座標上にプロットしたものである。快適度は興奮-鎮静軸の興奮側を 0° として角度と大きさとで表されている。大きさ (割合) は 50% を基準 (快でも不快でもない状態) とし、それよりも大きくなれば快適度が正 (快) となり、それよりも下回れば負 (不快) となる。図 7 より、 30° から 50% の基準を超え、約 240° で基準より小さくなること、 120° から 180° の範囲で最も快適度が高く、 270° から 360° の範囲で快適度が 50% を割り、不快なストレス領域に入ることがわかる。これらより、左右

(62) 特に眠気が強いときなど。

(63) 快適感 (快感情) の質的・量的違いを脳活動のレベルで客観的に評価する基準。

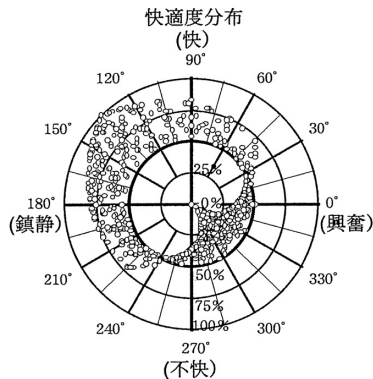


図7 快適度の極座標状プロット (吉田 (2002) p.700)

前頭部の基礎律動のリズム度から客観的に快適感（快感）を評価することができると吉田は主張している。

これまで何度か指摘してきたように、感情が生体調節や行動選択あるいは意思決定に関してどのような役割を果たしているかを理解することは、感情研究の重要な課題といえる。これらの課題に取り組むためには、主観的感情を何らかの方法で操作し、さらに操作された感情の時間的变化を測定し評価しなければならない。主観的な事象である感情体験をこのような科学的な手法を用いて研究するためには、感情の主観的指標に対応する生理的指標が必要である。生理的指標は測定機器を用いて記録することが可能で、記録された値は概ね客観的である。しかし操作（環境からの刺激）に対する生理的反応を心理状態、あるいは心理状態変化の客観的な指標として用いる場合は、記録された生理反応がどの心理状態あるいは状態変化に呼応するかを規定しなければならない。

この節は、 α 波の周期のゆらぎが快－覚醒感情平面に配置される快適感（快感）に対応する生理的指標となりうることを示した吉田の研究を取りあげた。次節では脳波よりもさらに測定が容易な心拍変動をもとに、質的・量的に異なる快感を評価するための生理的指標を定義することができないか検討してみる。

9. 感情の生理的指標としての心拍変動

9. 1. 心拍変動

正常洞調律の心拍は規則正しいペースを保っているように見えるが、心電図のRR間隔⁽⁶⁴⁾を測って詳しく分析してみると、一拍ごとの拍動間隔は不規則に変動していることがわかる。心拍の不規則変動は、交感神経系と副交感神経系を介して洞房結節に達する自律神経調整中枢からの入力によってもたらされと考えられている。この考えは、神経支配のない心臓では心拍変動が著しく低下するという実験事実に基づいている。

心拍変動は、周期的な成分と非周期的なフラクタル成分からなるという見方がある。周期成分については、自律神経系の活動を反映するという研究結果がこれまで数多く報告されてきている。また、最近、心拍変動のフラクタル成分は、感情の生起あるいは脳波のゆらぎに深く関わる中枢神経系の活動にその起源があるのではないかと指摘⁽⁶⁵⁾がなされている。

心臓は交感神経系および副交感神経（迷走神経）系による二重支配を受けている。交感神経は心房、心室の全体にわたって分布しているが、迷走神経は心房、特に洞房結節、房室結節に分布しているが、心室には比較的分布は少ない。交感神経系と副交感神経系の相互作用は複雑であるが、心臓の拍動調節に関しては拮抗的・相反的に作用⁽⁶⁶⁾すると考えられる。心臓に対する自律神経系の作用として変周期作用（chronotropic action）、変力作用（inotropic action）、変伝導作用（dromotropic action）がある。それぞれ、心拍周期（心拍数）、心筋収縮力（一回

(64) 連続するR波とR波の時間間隔。

(65) フラクタルは特徴的な長さをもたない図形、構造、現象の総称である（高安（1986）p.5）。数学ではフラクタルは次元という概念を用いて定義される。名称の由来も非整数（“フラクショナル”）次元にある。

(66) Togo and Yamamoto (2000)。

(67) 交感神経系と副交感神経系の拮抗的關係はそれほど強固なものではない。心臓血管系では、拮抗関係、共増関係、共減関係、無関係のいずれも取り得る（Berntson, Cacioppo, and Quigley, (1991)）。

心拍出量)、房室間伝導速度に影響を及ぼす。これらの作用について交感神経系は促進的、迷走神経系は抑制的に働く。迷走神経には常時持続性のインパルスが存在するが、交感神経には持続性インパルスは少ない。心臓促進中枢は脊髓側柱にある交感神経中枢にあり、心臓抑制中枢は迷走神経背側核である。両中枢とも、延髄の心臓促進中枢、視床下部、大脳辺縁系などの上位中枢の影響を受ける。

交感神経は胸髄または腰髄側柱から発し、副交感神経は中脳、橋、延髄にある神経核または仙髄側柱から発する。これらの自律神経末梢路に対する上位中枢は延髄および視床下部であり、これらで両系の統合が行われる。視床下部は下垂体におけるホルモンの分泌を調整する。従って自律神経系は単に神経性調節だけを行っているのではなく、体液性調節においても重要な役割を担っている。また大脳皮質とも機能的つながりが強く、体性神経系から完全に独立して機能しているわけではない。これらは自律神経系の活動指標が感情指標にもなりうることを示唆する。

9. 2. 心拍変動の周期成分とフラクタル成分

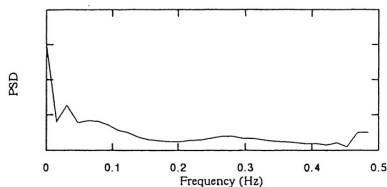
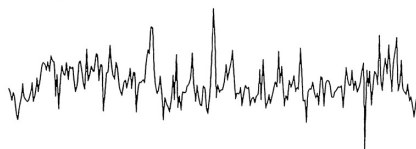
9. 2. 1. スペクトル解析

生体のパラメーターを一定の条件下で十分長い時間測定すると、一見して時間的にランダムな変動とみなしてしまうような非常に不規則な変動を示す。このような不規則変動の時間的性質を明らかにする方法としてはスペクトル解析が一般的である。スペクトル解析は、不規則変動をいろいろな周波数の正弦波に分解し、その不規則変動のなかに各周波数成分がどの程度含まれているかを調べる方法である。ある周波数帯域にパワースペクトルのピークが認められれば、その周波数に対応する振動子が不規則変動の生成に大きく関わっていると考えることができる。実際、この手法は脳波などの解析に成果をあげている。

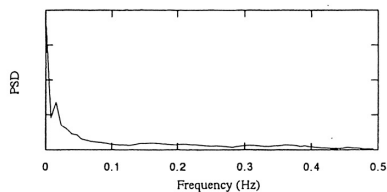
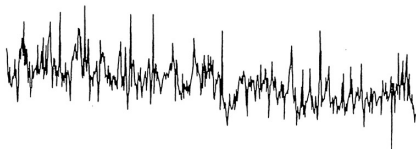
9. 2. 2. フラクタル解析

フラクタル成分について説明するために、不規則変動のパワースペクトルの例を見てみる。ある不規則変動の時系列とそれらのパワースペクトルを図8に示す。⁽⁶⁸⁾これらの例では、低い周波数帯域にピークがあるように見えるが認められるが、測定時間が2倍、4倍になってもピークを示す周波数付近の詳細は明らかにならない。低周波数の振動子があると考えるより、データ数が多くなればなるほど（観測時間が長くなればなるほど）ピークが低周波域に集まるとみなすほうが自然である。低周波域でのパワーの集中度をより詳細に調べるために両対数グラフにしてみると（図9）、対数パワースペクトルと対数周波数が負の傾きをもつ直線関係にあることがわかる。このようなべき乗分布の構造が、通常の周波数とパワースペクトルの軸上では低周波域へのパワーの集中となって現れていたことになる。近年の研究により、心拍変動などの一見不規則な生体

data length 256



data length 512



data length 1024

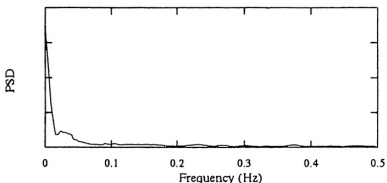
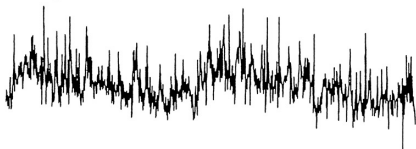


図8 不規則変動の例とそのパワースペクトル（野崎（1995）p.476）

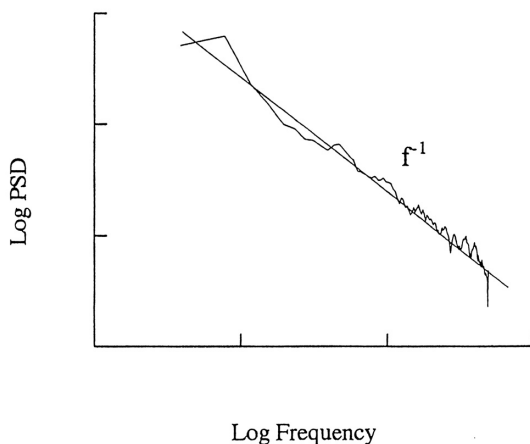


図9 $1/f$ ゆらぎ (野崎 (1995) p.476) PSD はスペクトルパワー密度。

信号の変動の多くが、周波数 f とパワースペクトル $P(f)$ の間に $P(f) \propto 1/f^\beta$ の関係⁽⁷⁰⁾が成り立つ $1/f^\beta$ 型のパワースペクトルをもつことが明らかになったが (以後、 $1/f^\beta$ 型のパワースペクトルをもつ変動を $1/f^\beta$ ゆらぎと呼ぶ)、生体においてべき乗分布を示す信号が作りだされる普遍的な仕組みについては理解されていない。図9のようなグラフの傾きが -1 ($\beta=1$) の場合は $1/f$ ゆらぎとして特に有名である⁽⁷¹⁾。心拍の $1/f^\beta$ ゆらぎは小林と武者によって初めてその存在が報告された⁽⁷²⁾。

$1/f^\beta$ ゆらぎの時間的性質を調べるとき、 $1/f^\beta$ ゆらぎをフラクタル的乱歩 (random walk) の軌道と考えることがある⁽⁷³⁾。フラクタル的乱歩の軌跡は統計的に

✓ (68) 野崎大地 (1995) pp.475-479.

(69) 両対数グラフにおいて直線上に並ぶような分布をべき乗分布という。べき乗分布は事象と事象の間になんらかの相関があることを意味する。

(70) パワースペクトル $P(f)$ が $f^{-\beta}$ に比例するという意味。

(71) β が 0 の信号は時間的に何ら相関をもたない雑音でホワイトノイズと呼ばれる。 β が 2 の $1/f^\beta$ ゆらぎはブラウン運動的な性質をもつと解釈される。

(72) Kobayashi and Musha (1982).

(73) $1/f^\beta$ ゆらぎはフラクタル性を十分条件ではない (Higuchi (1990))。

$$\langle B_H(ht) \rangle = h^H \langle B_H(t) \rangle$$

の関係を満たす。⁽⁷⁴⁾ H はハースト (Hurst) 指数と呼ばれ、 $H = (\beta - 1)/2$ ($1 \leq \beta \leq 3$), $H = 0$ ($0 \leq \beta \leq 1$) で与えられる。この関係は、時間の尺度を h 倍して構築した時系列 $B_H(ht)$ の分布パターンがもとの時系列 $B_H(t)$ の分布パターンと同じであるという自己相似 (厳密に言えば自己アファイン) の性質を意味する。フラクタル解析とは、自己アファイン性に起因する不規則性を β (あるいは H) によって定量化し、時間的な性質を調べることである。⁽⁷⁶⁾

パワースペクトルが $1/f^\beta$ 型になるということは、パワースペクトルの分布パターンが観測時間に依存せず一定であることを意味するから、時系列が自己相似 (自己アファイン) 性をもつ、すなわちフラクタルであることを示すと解釈されることがある。心拍変動のフラクタル成分は、自己アファイン性に起因する不規則さが β (あるいは H) で定量化できる成分と考えればよからう。「心拍変動はフラクタルか (カオス的な系に起因するか)」という議論は、判定法の妥当性の検証やフラクタルあるいはカオスの生理学的意義に関する議論を含めて、いまだ決着がついていない。

9. 2. 3. 心拍変動の周期成分とフラクタル成分⁽⁷⁷⁾

何らかのスペクトル解析の方法を用いて RR 間隔の時系列データの⁽⁷⁸⁾ パワースペクトルを計算すると、いくつかの周波数帯域に心拍変動の周期成分 (パワースペクトルのピーク) を見い出すことができる。0.15Hz から 0.40Hz あたりの⁽⁷⁹⁾ 高周波帯域 (HF) には呼吸と同期したピークが認められる。この帯域の総絶対

(74) $\langle \cdot \rangle$ はアンサンブル平均を表す。

(75) 変動の大きさは h^H 倍になる。

(76) 野崎大地 (1995) p.479.

(77) Berntson (1997) の分類による。

(78) 最大エントロピー法や FFT などスペクトル分析の方法はいくつかあり、その優劣については盛んに議論されているが、本稿では取り上げない。

(79) 呼吸に関係する心拍変動は 0.15Hz よりも低い周波数帯域に見られることもある。また幼児や運動中の成人では 1Hz あたりの周波数帯域にも見られる。

パワー（HF）は、主として副交感神経（心臓迷走神経）系の活動と関連するとされている。また、0.05Hz から 0.15Hz あたりの低周波帯域⁽⁸⁰⁾にピークが現れる。この帯域の総絶対パワー（LF）は心臓における交感神経系と副交感神経系の双方の活動を反映すると考えられている。そのため、交感神経系の活動の指標としては、LF/HF や LH/（HF+LF）が用いられる。これらの指標が自律神経系の活動を正確に反映するかどうかについては結論がでていない。0.05Hz 以下の周波数帯域にもパワースペクトルのピークは見られる。0.003Hz から 0.05Hz の総パワースペクトルは体温変動やレニン-アンジオテンシン系の活動を反映し、さらに低い周波数帯域の総パワースペクトルはサーカディアン・リズムに関係すると考えられている。

全パワーに対するフラクタル成分の相対値は 70% にもなるといわれるが、フラクタル成分は睡眠が深くなるにつれ 40% 程度にまで減少する⁽⁸²⁾。また、メンタルストレスがフラクタル成分に影響を及ぼすことが知られている。しかし、心拍変動のフラクタル成分の起源については十分理解されていない。脳波の脱同期（賦活化）に関係するメカニズムや脳の覚醒レベルに影響を及ぼすメカニズム、あるいはそれらに關係する大脳辺縁系の活動が不規則成分の発生に関与していると考えられている⁽⁸⁴⁾。

9. 3. 心拍変動と感情状態を結びつける生理学的根拠

人間の理性は、単一の脳中枢にあるのではなく、様々なレベルのニューロンを介し互いに協調しながら機能するいくつかの脳システムに依存している。前頭

(80) 中周波数帯域（MF）と呼ばれることもある。この帯域は 10 秒リズムあるいはメイヤー（Mayer）波と呼ばれる顕著な 0.1Hz の周期成分を含む。これには血圧の変化（血圧変化にともなう血管壁の伸展）を感受する動脈系の圧受容体が関与していると考えられている。

(81) 心拍変動などの不規則変動は、粗視化スペクトル法を用いることにより周期成分とフラクタル成分に分解することができ、変動中のフラクタル成分の貢献度を全パワーに対する相対値として定量化することができる（Yamamoto and Hughson（1993））。

(82) Togo and Yamamoto（2000）。

(83) Hoshikawa and Yamamoto（1997）。

(84) Togo and Yamamoto（2000）。

前皮質から視床下部や脳幹まで、上位中枢と下位中枢が協力して理性を生み出している。理性をもたらす神経組織の下位レベルは、感情の生起や有機体の生存に必要な身体機能を調整している組織と同じものである⁽⁸⁵⁾。

感情には“新しい脳”（上位中枢）と“古い脳”（下位中枢）の機能的なつながりを強化する機能があると考えられる。感情を生みだすメカニズム（解剖・生理学的基盤）は“新しい脳”と“古い脳”の境界部にあると推察される。大脳辺縁系および視床下部が感情状態に大きな影響を及ぼす。それらが生みだすリズムやそれぞれの活動パターンが感情の質的变化をもたらす。脳波の基礎律動のゆらぎや心拍変動のゆらぎの源も大脳辺縁系や視床下部が生みだすリズムあるいはそれぞれの活動パターンにあると考えられる。

心拍変動の周波数分析やフラクタル解析は、自律神経系の活動バランス、脳の覚醒レベル、感情と深い関わりのある大脳辺縁系や視床下部の活動パターンに関する情報を提供してくれる。これらの情報と感情体験の対応関係や、心拍変動や脳波などの感情の生理指標の関連を明らかにすることによって、心拍変動は客観的で簡便な感情指標として科学的な感情研究に寄与すると考えられる。

10. むすび

感情機能の重要性は今後ますます高くなるであろう。社会生活において、感情のコントロールを必要とする状況や、表出される感情から他者あるいは自己を理解し行動しなければならない状況が増えてきているのではないだろうか。今後、感情機能、特に快感情の機能に関する理解を深めるための取り組みが重要になると思われる。

感情研究に関して言えば、感情の起源あるいは発生メカニズムの解明に向けた研究はもちろん、主観的心理尺度と生理的尺度の対応関係に焦点をあてた実験研究を進め、その成果をもとに心理状態と生理状態の関係について明らかに

(85) 先に述べたように、感情が依存している重要なネットワークは、大脳辺縁系として知られる一連の脳構造だけではなく、前頭前皮質の一部と身体からの信号を統合する部位を含む。

する必要があろう。その際、主観的言語報告を基に感情構造を細分化するのではなく、心理状態と生理状態の間に一对一の対応が見られるように感情構造モデルをつくる必要があろう。そのためには感情の次元説にもとづき、主観的心理状態の質的違いを少数のパラメーターで表すことが求められる。

感情状態は中枢神経系レベルの概念であるから大脳の活動が生理的指標として用いられるのは当然である。従来から感情状態の生理的指標として用いられてきた皮膚温、心拍、眼球運動などの自律反応については、自律神経系はそもそも生体調節を主目的とする末梢神経系であり感情状態の敏感な指標とはいえないという指摘がある。しかし、自律神経系の活動バランスが反映する身体（末梢）の状態は、感情の生起に深く関与すると考えられる。心拍ゆらぎ（心拍変動の不規則成分）は、自律神経系の活動バランス（身体状態）のみならず中枢神経系の活動状態（感情状態）とも密接な関係があり、その起源は脳波のゆらぎのそれと共通する部分が大い。心拍変動を生理的感情指標として用いるのは合理的なことであろう。

心拍変動は脳波より測定が容易で実用性が高い。現代社会における感情の重要性を認識し、心拍変動と感情の関係について理解を深めることによって、感情機能を日常の社会生活のなかでうまく活用できるようになるのではないか。

参考文献

- Arnold, M. B. (1960). *Emotion and Personality*. Columbia University Press.
- Averill, J. R. (1980). A constructive view of emotion. In R. Plutchik and H. Kellerman (eds.), *Emotion: Theory, research, and experience*. Vol. 1. Theories of emotion. Academic Press. pp.305-339.
- Berntson, G. G., Bigger, Jr. J.T., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., Nagaraja, H. N., Porges, S. W., Saul, J. P., Stone, P. H., and Van Der Molen, M. W. (1997). Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34: 623-648.
- Berntson, G. G., Cacioppo, J. T., and Quigley, K. S. (1991). Autonomic determinism: The modes of Autonomic control, the doctrine of autonomic space, and the laws of autonomic constraint. *Psychological Review*, 98: 459-487.

- Higuchi, T. (1990). Relationship between the fractal dimension and the power law index for a time series: a numerical investigation. *Physica D*, 46: 254-264.
- Hoshikawa, Y. and Yamamoto, Y. (1997). Effects of Stroop color-word conflict test on the autonomic nervous system responses. *American Journal of Physiology: Heart and Circulatory Physiology*, 272: H1113-H1121.
- Kobayasi, M. and Musha, T. (1982). 1/f Fluctuation of Heartbeat Period. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 29 (6): 456-457.
- Larsen, R. J. and Diener, E. (1992). Promises and problems with the circumplex model of emotion. *Review of Personality and Social Psychology*, 13:25-59.
- Lazarus, R. J. (1991). *Emotion and adaptation*. Cambridge University Press.
- LeDoux, J. E. (1987). Emotion. In F. Plum (ed.) *Handbook of Physiology: Section I. The nervous system*. Vol. 5. Higher functions of the brain. American Physiological Society.
- Lewis, M. (1993). The emergence of human emotions. In M. Lewis and J. M. Haviland (eds.), *Handbook of emotions*. The Guilford Press. pp. 223-235.
- Mayne, T. J. (1999). Negative affect and health: The importance of being earnest. *Cognition and emotion*, 13: 601-635.
- Meyer, G. J. and Shack, J. R. (1989). The structure convergence of mood and personality: Evidence for old and new "directions". *Journal of Personality and Social Psychology*, 57: 691-706.
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39: 1161-1178.
- Smith, T. W. (1992). Hostility and health: Current status of a psychosomatic hypothesis. *Health Psychology*, 11: 139-150.
- Togo, F and Yamamoto, Y. (2000). Decreased fractal component of human heart rate Variability during non-REM sleep. *American Journal of Physiology: Heart and Circulatory Physiology*, 280: H17-H21.
- Watson, D., Clark, L. A. and Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scale. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54: 1063-1070.
- Yamamoto, Y. and Hughson, R. L. (1993). Extracting fractal components from time series. *Physica D*, 68: 250-264.
- Zevon, M. A. and Tellegen, A. (1982). The structure of mood change: An idiographic/nomothetic analysis. *Journal of Personality and Social Psychology*, 43: 111-122.
- 遠藤利彦 (1996) 「喜怒哀楽の起源－情動の進化論・分化論」 岩波科学ライブラリー 岩波書店
- 高橋雅延, 谷口高士 (編著) (2002) 「感情と心理学」 北大路書房

鶴 紀子 (2000) 「臨床脳波と脳波解析」 新興医学出版社

野崎大地 (1995) 生体ゆらぎの解析 Japanese Journal of Sports Sciences 14 (5): 474-489.

濱 治世, 鈴木直人, 濱 保久 (2001) 「感情心理学への招待」 サイエンス社

福井康之 (1990) 「感情の心理学—自分と人との関係性を知る手がかり」 川島書店

松田隆夫 (編著) (1997) 「心理学概説」 培風館

吉田倫幸 (2002) 快適さの客観的計測と評価 計測と制御 41 (10): 696-701.